

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**Институт:** электронного обучения

**Направление подготовки:** 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

**Кафедра:** общей химии и химической технологии

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Разработка основного оборудования производства полиэтилена низкой плотности</b>

УДК 678.742.21.002.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К22	Лунев Иван Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Балмашнов М.А.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов И. И.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ан В.В.	к.т.н., доцент		

Томск – 2017 г.

**Перечень результатов обучения (профессиональных и универсальных компетенций), запланированных к достижению выпускниками данной образовательной программы**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11, ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать новое энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность и надежность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,12,13,14,17, ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
P7	Применять знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 9, 10, 11, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
		и <i>FEANI</i>
P8	Использовать современные компьютерные методы вычисления, основанные на применении современных эффективных программных продуктов при расчете свойств материалов, процессов, аппаратов и систем, характерных для профессиональной области деятельности; находить необходимую литературу, использовать компьютерные базы данных и другие источники информации	Требования ФГОС (ПК-4, 5, 9, 10, 11, 14)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
P11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P12	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

#### *Цели образовательной программы*

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
Ц1	Подготовка выпускников к производственно-технологической деятельности в области энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, конкурентоспособных на мировом рынке.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий химического комплекса России (ООО СИБУР «Томскнефтехим», ОАО «Тоскгазпром», ОАО «КИНЕФ», г. Кириши, Ангарский нефтеперерабатывающий комбинат, ПО «Азот», г. Кемерово,

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
		ООО «ЭльПласт», ООО «Сибметахим, ОАО «Фармстандарт–Томскхимфарм», и др.).
Ц2	Подготовка выпускников к проектной деятельности в области энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий химического комплекса России (ОАО «ТомскНИПИнефть, ОАО НК «РОСНефть», г. Краснодар, ОАО «Самаранефтехимпроект, ЭЛЕСИ и др.).
Ц3	Подготовка выпускников к научным исследованиям для решения задач, связанных с разработкой новых методов создания процессов, материалов и оборудования, обеспечивающих энерго-ресурсосбережение, экологическую безопасность технологии.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Потребности научно-исследовательских центров РАН, СО РАН (ТПУ, ТГУ, Институт химии нефти СО РАН, Институт катализа СО РАН, г. Новосибирск, НИОСТ, ООО НПЦ «НООСФЕРА», г. Надым и др.).
Ц4	Подготовка выпускников к организационно-управленческой деятельности.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI, запросы отечественных предприятий и НИИ.
Ц5	Подготовка выпускников к самообучению и непрерывному профессиональному самосовершенствованию.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI, запросы отечественных предприятий и НИИ..

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**Институт:** электронного обучения

**Направление подготовки:** 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

**Кафедра:** общей химии и химической технологии

**УТВЕРЖДАЮ:**

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Ан В.В.  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К22	Лунев Иван Александрович

Тема работы:

<b>Разработка основного оборудования производства полиэтилена низкой плотности</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	19.04.2017, №2840/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Введение;</li> <li>- Описание технологической схемы;</li> <li>- Технологический расчет ОВД;</li> <li>- Конструктивный расчет ОВД;</li> <li>- Механический расчет ОВД;</li> <li>- Социальная ответственность</li> <li>- Техничко-экономические показатели.</li> </ul>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p><b>1 лист технологическая схема</b></p> <p><b>2-3 лист общий вид ОВД</b></p> <p><b>4 лист сборочный чертеж ОВД</b></p> <p><b>5 лист технико-экономические показатели</b></p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p><b>Экономический</b></p>	<p><b>Рыжакина Т.Г.</b></p>
<p><b>Социальный</b></p>	<p><b>Романцов И. И.</b></p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	
--	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Балмашнов М.А.	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-2К22	Лунев Иван Александрович		

## Содержание

Реферат.....	8
Введение.....	9
1. Техничко-экономическое обоснование .....	10
2. Технология производства .....	11
3. Отделитель высокого давления.....	12
3.1 Технологический расчет основного аппарата .....	13
3.2 Гидравлический расчет .....	14
3.3 Механический расчет основного аппарата .....	23
3.3.1 Выбор материала .....	23
3.3.2 Расчет механических характеристик выбранного материала ..	26
3.4 Определение пробного давления в змеевике .....	28
3.5 Расчет прибавки С .....	29
3.6 Расчет толщины стенки цилиндрического корпуса .....	29
3.7 Расчет плоской крышки .....	30
3.8 Расчет конического днища .....	31
3.9 Расчет верхнего затвора с двухконусным кольцом .....	32
3.10 Расчет шпилек .....	33
3.11 Расчет фланца .....	35
3.12 Расчет массы аппарата .....	36
3.13 Расчет опор аппарата .....	38
3.14 Строповочные устройства .....	41
4. Социальная ответственность .....	43
4.1. Производственная безопасность .....	44
4.2. Экологическая безопасность .....	51
4.3. Безопасность в чрезвычайной ситуации .....	52
Правовые и организационные вопросы обеспечения	
4.4. безопасности .....	57
5. Экономика производства .....	59
5.1. Расчет производственной мощности .....	59
5.2. Расчет затрат на производство .....	65
5.3. Анализ безубыточности .....	70
Анализ экономической эффективности инвестиционного	
5.4. проекта .....	71
5.5. Срок окупаемости инвестиций .....	72
5.6. Техничко-экономические показатели .....	73
Вывод .....	74
Список литературы .....	75

## РЕФЕРАТ

Дипломный проект 76 с., 1 рис., 15 табл., 25 источника,  
5 листов графического материала.

Отделитель высокого давления.

Объектом исследования является отделитель высокого давления.

Цель работы – проектирование основного оборудования узла охлаждения и очистки возвратного газа.

В работе представлены технологический и механический расчеты:

- отделителя высокого давления, включающие в себя выбор материала, определение пробного давления для гидроиспытаний, определение пробного давления в змеевике и рубашке, расчет корпуса, расчет кармана термопары, расчет днища, расчет фланца, расчет шпилек, расчет крышки, расчет коллектора, расчет опор, а также гидравлический расчет.

Также рассмотрены:

-основные элементы производства, формирующие вредные и опасные факторы, а также разработка мероприятий по снижению их воздействия;

-расчет технико–экономических показателей, анализ безубыточности и срок окупаемости инвестиций.



## **Введение**

Сегодня сложно представить мир без пластика, такого одновременно простого, но при этом крайне полезного изобретения. Как сам пластик, так все прочие подобные материалы делают нашу жизнь проще и комфортабельнее, помогая в транспортировке, хранении товаров, а также различных областях техники и науки. Места, в которых применяется пластик можно перечислять очень долго, также как и разнообразные предметы, которые изготавливаются на его основе. Остановимся только на одном таком изделии – разнообразной пленки из полиэтилена, которая используется во многих областях нашей жизни. Производство полиэтилена играет особую роль в развитии отечественной экономики. Рассмотрим вопрос модернизации основного оборудования узла очистки и охлаждения возвратного газа. Цель дипломного проекта разработать оборудование, которое увеличит степень очистки и охлаждения газа, не вступившего в реакцию в реакторном блоке, что приведет к увеличению производительности производства полиэтилена; проработать вопросы социальной ответственности, промышленной и экономической безопасности; разработать схему автоматизации технологического процесса и монтажа оборудования. Своевременная модернизация и увеличение производительности в области стремительно развивающейся химической промышленности имеет огромное значение не только для ООО «Томскнефтехим», но и для холдинга «Сибур» в целом и ведет к лидерству, как на отечественном рынке, так и за рубежом.

## **1. Техничко-экономическое обоснование**

Цель данного дипломного проекта – произвести оптимизацию, подбор параметров оборудования, которые соответствуют максимальной продуктивности установок, а также провести разработку основного оборудования узла очистки и охлаждения возвратного газа. Данный узел находится в отделении цеха ПЭВД (полиэтилена высокого давления) - ООО «Томскнефтехим».

В экономической части дипломного проекта проведена оценка экономической целесообразности принятых в проекте решений и определена ожидаемая экономическая эффективность от применения, разработанного в проекте оборудования. Эффективность проекта подтверждается показателями эффективности.

## 2. Технология производства

Технологический процесс включает следующие основные стадии:

- смешение этилена с возвратным газом и кислородом;
- двухстадийное сжатие газовой смеси;
- полимеризация этилена в трубчатом реакторе;
- разделение полимера и непрореагировавшего этилена;
- грануляция полимера.

2.1 Неполная конверсия этилена в реакторе обуславливает необходимость отделения полимера и возвращения непрореагировавшего этилена в цикл.

Разделение осуществляется, как правило, в две ступени: в отделителе высокого давления, где отделяется основная масса этилена, и в отделителе низкого давления.

Поступающая в отделитель высокого давления реакционная смесь при давлении 20-29.5 МПа и температуре 260 °С расслаивается на две фазы - жидкую, состоящую из расплавленного полиэтилена и растворенного в нем этилена (до 20% от количества полиэтилена), и газовую - этилен, содержащий незначительное количество низкомолекулярного полиэтилена.

Газовая фаза из ОВД с температурой (185-285)<sup>0</sup>С поступает в сепаратор Б-600/2 обогреваемый паром 2,4 МПа, который подается в рубашку аппарата. В сепараторе происходит частичное выделение низкомолекулярного полиэтилена (НМПЭ) из газовой фазы.

### 3. Отделитель высокого давления

Отделитель представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат. Ввод смеси осуществляется через верхнюю крышку или днище аппарата (в зависимости от конструкции отделителя) по касательной к оси аппарата для облегчения отделения расплавленного полиэтилена от этилена. Отделитель снабжен термопарами для замера температуры по высоте, манометрами, предохранительным устройством от превышения давления, уровнемером. Жидкая фаза (расплав полиэтилена), уровень которой поддерживается постоянным, непрерывно выводится через регулирующий клапан из нижней части отделителя в отделитель низкого давления. Отделившийся этилен выводится из верхней части отделителя в систему очистки возвратного газа высокого давления.

#### Исходные данные для расчета:

Температура в ОВД :

$$t := 275 \quad \text{C}$$

Абсолютное давление в ОВД :

$$P := 28.5 \quad \text{Мпа}$$

Внутренний диаметр ОВД :

$$D_{\text{вн}} := 1200 \quad \text{мм}$$

Наружный диаметр ОВД :

$$D_{\text{н}} := 1480 \quad \text{мм}$$

Высота ОВД :

$$H := 5 \quad \text{м}$$

### 3.1 Технологический расчет

**Материальный баланс:**

Производительность аппарата:

$$N := 124336 \text{ т}$$

Количество рабочих дней в году:

$$Д := 353$$

Суточная производительность по готовому продукту без учета потерь:

$$Пс := \frac{N}{Д}$$

$$Пс = 352,227 \text{ т/сут}$$

Часовая производительность по готовому продукту без учета потерь:

$$Пч := \frac{Пс * 10^3}{24}$$

$$Пч = 14676,125 \text{ кг/час}$$

Массовая доля полиэтилена в исходной смеси, поступающей в отделитель:

$$X_H := 0,268$$

Количество исходной смеси, поступающей в отделитель:

$$G_H := \frac{Пч}{X_H}$$

$$G_H = 54761 \text{ кг/час}$$

Массовая доля полиэтилена в конечной смеси:

$$X_K := 0,796$$

Количество конечной смеси:

$$W := G_H * \left(1 - \frac{X_H}{X_K}\right)$$

$$W = 36324 \text{ кг/ч}$$

### 3.2 Гидравлический расчет

Произведем расчет потерь напора при движении смеси от реактора в отделитель высокого давления.

Рассчитаем массовые расходы полиэтилена и этилена в исходной смеси:

$$\begin{array}{lll} G_{ПЭ} := G_H \cdot X_H & G_{ПЭ} = 14676.1 & \frac{\text{кг}}{\text{час}} \\ G_{Э} := G_H \cdot (1 - X_H) & G_{Э} = 40085.5 & \frac{\text{кг}}{\text{час}} \end{array}$$

**Рассчитаем физические свойства смеси:**

Плотность расплава полиэтилена:

$$\rho_{ПЭ} = 920 \text{ кг/м}^3$$

Плотность этилена при нормальных условиях:

$$\rho_{Эн.} = 1,26 \text{ кг/м}^3$$

Плотность этилена в отделителе высокого давления:

$$\rho_{Э} := \left[ \frac{(\rho_{Эн.} \cdot 273)}{t + 273} \right] \cdot \frac{(P \cdot 10^6)}{101325} \quad \rho_{Э} = 176.6 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Объемные расходы полиэтилена и этилена в исходной смеси:

$$\begin{array}{lll} V_{ПЭ} := \frac{G_{ПЭ}}{\rho_{ПЭ}} & V_{ПЭ} = 16 & \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \\ V_{Э} := \frac{G_{Э}}{\rho_{Э}} & V_{Э} = 227 & \frac{\text{м}^3}{\text{час}} \end{array}$$

Объемный расход смеси:

$$V_{см} := V_{ПЭ} + V_{Э} \quad V_{см} = 243 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

Объемные доли компонентов:

$$\phi_{\text{ПЭ}} := \frac{V_{\text{ПЭ}}}{V_{\text{см}}} \quad \phi_{\text{ПЭ}} = 0.066$$

$$\phi_{\text{Э}} := \frac{V_{\text{Э}}}{V_{\text{см}}} \quad \phi_{\text{Э}} = 0.934$$

Плотность смеси:

$$\rho_{\text{см}} := \frac{1}{\left(\frac{\phi_{\text{ПЭ}}}{\rho_{\text{ПЭ}}}\right) + \left(\frac{\phi_{\text{Э}}}{\rho_{\text{Э}}}\right)} \quad \rho_{\text{см}} = 186.4 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Диаметр подводной трубы:

$$d = 100 \text{ мм}$$

Диаметр трубы:

$$L = 20 \text{ м}$$

Площадь сечения подводной трубы:

$$S := \frac{\left[\pi \cdot (d \cdot 10^{-3})^2\right]}{4} \quad S = 0.0079 \quad \text{м}^2$$

Скорость течения смеси в трубе:

$$\omega := \frac{V_{\text{см}}}{(3600 \cdot S)} \quad \omega = 8.594 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Коэффициент динамической вязкости расплава полиэтилена:

$$\mu_{\text{ПЭ}} = 13,5 \text{ МПа} \cdot \text{с}$$

Коэффициент динамической вязкости этилена:

$$\mu_{\text{Э}} = 0,47 \text{ МПа} \cdot \text{с}$$

Коэффициент динамической вязкости смеси:

$$\mu_{\text{см}} := \frac{1}{\left(\frac{\phi_{\text{ПЭ}}}{\mu_{\text{ПЭ}}}\right) + \left(\frac{\phi_{\text{Э}}}{\mu_{\text{Э}}}\right)} \quad \mu_{\text{см}} = 0.5 \quad \text{МПа} \cdot \text{с}$$

Число Рейнольдса:

$$Re := \omega \cdot \left[ \frac{(d \cdot \rho_{\text{СМ}})}{\mu_{\text{СМ}}} \right] \quad Re = 319323.7$$

Т.к. число Рейнольдса больше 10000, значит режим течения жидкости – турбулентный.

Принимаем среднее значение шероховатости труб:

$$\Delta := 0.2 \quad \text{мм}$$

Относительная шероховатость:

$$\varepsilon := \frac{\Delta}{d} \quad \varepsilon = 0.002$$

$$\text{Т.к. } \frac{10}{\varepsilon} = 5000 < Re < \frac{560}{\varepsilon} = 280000$$

значит имеем турбулентный режим в шероховатых трубах.

Гидравлический коэффициент трения:

$$\lambda := \frac{1}{\left[ 2 \cdot \log \left[ 0.27 \cdot \varepsilon + \left( \frac{6.81}{Re} \right)^{0.9} \right] \right]^2} \quad \lambda = 0.024$$

Местные сопротивления:

Коэффициент местного сопротивления входа:

$$\xi_{\text{вх}} = 0,5$$

Коэффициент сопротивления на выходе из внутреннего трубопровода:

$$\xi_{\text{вых}} = 1$$

Коэффициент местного сопротивления плавного поворота газохода на угол 90 градусов:

$$\xi_{\text{пов}} = 1,131$$



число поворотов:

$$n: = 3$$

Потери напора на трение по длине и в местных сопротивлениях во внутреннем трубопроводе – требуемая разница уровней сосудов:

$$H_{\text{тр}} := \left[ \xi_{\text{ВЫХ}} + \xi_{\text{ВХ}} + n \cdot \xi_{\text{ПОВ}} + \left( \lambda \cdot \frac{L}{d \cdot 10^{-3}} \right) \right] \cdot \frac{\omega^2}{2 \cdot 9.81}$$

$$H_{\text{тр}} = 36.6 \quad \text{м}$$

### Тепловой баланс:

Рассчитаем приход тепла вносимое смесью:

Теплоемкость полиэтилена:

$$C_{p\text{ПЭ}} = 1,7 \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$$

Теплоемкость этилена:

$$C_{p\text{Э}} = 2,6 \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$$

Тепло, вносимое смесью, рассчитываем по уравнению:

### Расход

**Расчет коэффициента теплоотдачи от расплава полиэтилена к стенке отделителя высокого давления .**

Массовые расходы полиэтилена и этилена в удаляемой смеси:

$G_{\text{ПЭу}} := G_{\text{к}} \cdot X_{\text{к}}$	$G_{\text{ПЭу}} = 14676.1$	$\frac{\text{кг}}{\text{час}}$
$G_{\text{Эу}} := G_{\text{к}} \cdot (1 - X_{\text{к}})$	$G_{\text{Эу}} = 3761.2$	$\frac{\text{кг}}{\text{час}}$

Объемные расходы полиэтилена и этилена в удаляемой смеси:

$V_{\text{ПЭу}} := \frac{G_{\text{ПЭу}}}{\rho_{\text{ПЭ}}}$	$V_{\text{ПЭу}} = 16$	$\frac{\text{м}^3}{\text{час}}$
$V_{\text{Эу}} := \frac{G_{\text{Эу}}}{\rho_{\text{Э}}}$	$V_{\text{Эу}} = 21.3$	$\frac{\text{м}^3}{\text{час}}$

Объемный расход смеси:

$$V_{\text{см}} := V_{\text{пэ}} + V_{\text{э}} \quad V_{\text{см}} = 37.3 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

Объемные доли компонентов:

$$\phi_{\text{пэ}} := \frac{V_{\text{пэ}}}{V_{\text{см}}} \quad \phi_{\text{пэ}} = 0.428$$

$$\phi_{\text{э}} := \frac{V_{\text{э}}}{V_{\text{см}}} \quad \phi_{\text{э}} = 0.572$$

Плотность смеси:

$$\rho_{\text{см}} := \frac{1}{\left( \frac{\phi_{\text{пэ}}}{\rho_{\text{пэ}}} \right) + \left( \frac{\phi_{\text{э}}}{\rho_{\text{э}}} \right)} \quad \rho_{\text{см}} = 270 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Коэффициент динамической вязкости смеси :

$$\mu_{\text{см}} := \frac{1}{\left( \frac{\phi_{\text{пэ}}}{\mu_{\text{пэ}}} \right) + \left( \frac{\phi_{\text{э}}}{\mu_{\text{э}}} \right)} \quad \mu_{\text{см}} = 0.8 \quad \text{МПа}\cdot\text{с}$$

Теплоемкость смеси:

$$C_{\text{рсм}} := C_{\text{рпэ}} \cdot X_{\text{к}} + C_{\text{рэ}} \cdot (1 - X_{\text{к}}) \quad C_{\text{рсм}} = 1.88 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{С}}$$

Коэффициент теплопроводности расплава полиэтилена:

$$\lambda_{\text{пэ}} := 0.43 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$$

Коэффициент теплопроводности этилена:

$$\lambda_{\text{э}} := 0.0267 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$$

Теплопроводность смеси:

$$\lambda_{\text{см}} := \lambda_{\text{пэ}} \cdot X_{\text{к}} + \lambda_{\text{э}} \cdot (1 - X_{\text{к}}) \quad \lambda_{\text{см}} = 0.35 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Площадь сечения отделителя:

$$S_{\text{вн}} := \left[ \frac{\pi \cdot (D_{\text{вн}} \cdot 10^{-3})^2}{4} \right] - \left[ \frac{\pi \cdot (d \cdot 10^{-3})^2}{4} \right] \quad S_{\text{вн}} = 1.1231 \quad \text{м}^2$$

Скорость течения полиэтилена в ОВД:

$$\omega_{\text{у}} := \frac{V_{\text{см}}}{3600 \cdot S_{\text{вн}}} \quad \omega_{\text{у}} = 0.009 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Число Рейнольдса:

$$\text{Re}_{\text{у}} := \omega_{\text{у}} \cdot \left( \frac{d \cdot \rho_{\text{см}}}{\mu_{\text{см}}} \right) \quad \text{Re}_{\text{у}} = 310.5$$

Т.к. число Рейнольдса меньше  $< 2300$ , значит режим течения жидкости – ламинарный.

Критерий Прандля:

$$\text{Pr} := \frac{C_{\text{рсм}} \cdot \mu_{\text{см}}}{\lambda_{\text{см}}} \quad \text{Pr} = 4.3$$

Число Пекле:

$$\text{Pe} := \text{Re}_{\text{у}} \cdot \text{Pr} \quad \text{Pe} = 1347.5$$

Находим произведение:

$$\text{Pe} \cdot \left( \frac{D_{\text{вн}} \cdot 10^{-3}}{H} \right) = 323.4$$

Число Нуссельта:

$$Nu := 1.55 \cdot \left( Re_y \cdot \frac{D_{BH} \cdot 10^{-3}}{H} \right)^{\frac{1}{3}} \quad Nu = 6.5$$

Определяем коэффициент теплоотдачи от смеси к трубе:

$$\alpha_1 := \frac{Nu \cdot \lambda_{см}}{D_{BH} \cdot 10^{-3}} \quad \alpha_1 = 1.9 \quad \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

**Расчет коэффициента теплоотдачи от воздуха к стенке ОВД .**

Температура наружного воздуха:

$$t_B := 20 \quad C$$

По температуре воздуха из таблиц находим:

$$\lambda_B := 2.59 \cdot 10^{-2} \quad \frac{Вт}{м \cdot К}$$

$$\nu_B := 15.06 \cdot 10^{-6} \quad \frac{м^2}{сек}$$

$$Pr_1 := 0.703$$

Температурный коэффициент объемного расширения:

$$\beta := \frac{1}{t_B + 273} \quad \beta = 0.0034 \quad \frac{1}{К}$$

Принимаем температуру стенки:

$$t_c := 100 \quad C$$

Число Грасгофа:

$$Gr := \frac{9.81 \cdot \beta \cdot (t_c - t_B) \cdot (D_H \cdot 10^{-3})^3}{\nu_B^2} \quad Gr = 38284817084$$

По произведению:

$$(\text{GrPr}) := \text{Gr} \cdot \text{Pr1}$$

$$\text{GrPr} = 26914226410$$

Находим, что режим течения - ламинарный:

$$\text{B} := 0.5$$

$$\text{n1} := \frac{1}{4}$$

Число Нуссельта:

$$\text{Nu1} := \text{B} \cdot \text{GrPr}^{\text{n1}}$$

$$\text{Nu1} = 202.5$$

Коэффициент теплоотдачи от воздуха к трубе:

$$\alpha_2 := \frac{\text{Nu1} \cdot \lambda_{\text{B}}}{D_{\text{H}} \cdot 10^{-3}}$$

$$\alpha_2 = 3.544 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

**Линейный коэффициент теплопередачи[1]:**

Коэффициент теплопроводности стали:

$$\lambda_{\text{C}} := 46.5 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Линейный коэффициент теплопередачи:

$$\text{K} := \frac{1}{\left[ \frac{1}{\alpha_1 \cdot (D_{\text{H}} \cdot 10^{-3})} \right] + \left( \frac{1}{2 \cdot \lambda_{\text{C}}} \right) \cdot \ln \left( \frac{D_{\text{H}}}{D_{\text{ВН}}} \right) + \left[ \frac{1}{\alpha_2 \cdot (D_{\text{H}} \cdot 10^{-3})} \right]}$$

$$\text{K} = 1.82$$

Линейная плотность теплового потока:

$$q_1 := \text{K} \cdot \pi \cdot (t - t_{\text{в}}) \quad q_1 = 1455.6 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

Температура внешней поверхности трубы:

$$t_{c2} := t_B + \left( \frac{q_1}{\pi} \right) \cdot \left[ \frac{1}{\alpha_2 \cdot (D_H \cdot 10^{-3})} \right] \quad t_{c2} = 108.3 \quad \text{C}$$

Погрешность расчета:

$$\delta_{\text{м}} := \left( \frac{t_{c2} - t_c}{t_{c2}} \right) \cdot 100 \quad \delta = 8 \quad \%$$

**Количество теплоты уходящей через поверхность ОВД:**

$$Q_2 := q_1 \cdot H \cdot 10^{-3} \quad Q_2 = 7.3 \quad \text{кВт}$$

**Количество теплоты уходящей с этиленом:**

$$Q_3 := \left( \frac{W}{3600} \right) \cdot C_{p3} \cdot t \quad Q_3 = 7214.4 \quad \text{кВт}$$

**Количество теплоты уходящей с конечным раствором:**

$$Q_E := Q_1 - Q_2 - Q_3 \quad Q_E = 2645.6 \quad \text{кВт}$$

Температура конечного раствора:

$$t_K := \frac{Q_E \cdot 3600}{C_{p\text{см}} \cdot G_K} \quad t_K = 274.2 \quad \text{кВт}$$

## 3.3 МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОСНОВНОГО АППАРАТА

### 3.3.1 Выбор материала

Технические характеристики:

Отделитель высокого давления предназначен для отделения расплава полиэтилена от этилена.

Емкость – 5 м<sup>3</sup>.

Среда:

- в корпусе – этилен, пропан, полиэтилен (взрывопожароопасная);

- в рубашке – водяной пар;

Давление рабочее:

- в корпусе – 28,5 МПа;

- в змеевике – 2,4 МПа;

Давление расчетное:

- в корпусе – 45 МПа;

- в змеевике – 2,6 МПа;

Температура рабочая:

- в корпусе – +275 °С;

- в змеевике - +220 °С;

Температура расчетная:

- в корпусе – +300 °С;

- в змеевике - +230 °С;

При выборе конструкционного материала основным критерием является его химическая и коррозионная стойкость в заданной среде. Обычно выбирают материал абсолютно или достаточно стойкий в среде при её рабочих параметрах и

к расчётным толщинам добавляют на коррозию соответствующие прибавки в зависимости от срока службы аппарата. Поэтому, в соответствии с рабочими условиями выбираем рекомендуемую марку углеродистой конструкционной стали 20Х2МА.

### Назначение

Сталь 20 применяется: для изготовления листового проката 4-14 мм 1-2 категории, предназначенного для холодной штамповки; после нормализации или без термообработки крюков кранов, муфт, вкладышей подшипников и других деталей, работающих при температурах от -40 °С до +450 °С под давлением; после ХТО - для изготовления шестерней, червяков, червячных пар и других деталей, к которым предъявляются требования высокой поверхностной твердости при невысокой прочности сердцевины; холоднокатаных плавниковых труб наружным диаметром 32, 38 и 50 мм, предназначенных для паровых котлов со сверхкритическими параметрами пара; труб перегревателей, коллекторов и трубопроводов котлов высокого давления; цементуемых деталей для длительной и весьма длительной службы при температурах до +350 °С; заготовок деталей трубопроводной арматуры; деталей типа донышек, воротниковых фланцев, штуцеров, колец, патрубков, тройников и деталей прямоугольной формы для энергооборудования и трубопроводов с абсолютным давлением свыше 3,9 МПа тепловых электростанций; оборудования и трубопроводов атомных станций (АС); деталей и элементов трубопроводов пара и горячей воды атомных станций (АС), с расчётной температурой среды не выше +350°С при рабочем давлении менее 2,2 МПа (22 кгс/см<sup>2</sup>); труб для установок химических и нефтехимических производств с условным давлением  $P_u=19,6-98$  МПа (200-1000 кгс/см<sup>2</sup>); спиральношовных труб с двухсторонним швом для трубопроводов атомных электростанций; труб бесшовных высокого давления (6-10 мм) для топливопроводов дизелей; горячекатаного профиля для изготовления ободьев колес сельскохозяйственных машин; электросварных труб для изготовления деталей и конструкций в мотовелостроении; стальных гнутых замкнутых сварных квадратных и прямоугольных профилей, предназначенных для применения в



сельскохозяйственном машиностроении, тракторостроении и других отраслях народного хозяйства; бесшовных горячедеформированных хладостойких труб для газлифтных систем и обустройства газовых месторождений; колец цельнокатаных различного назначения; бесшовных холоднодеформированных, теплодеформированных, горячедеформированных, в том числе горячепрессованных, и горячепрессованных редуцированных труб, предназначенных для паровых котлов и трубопроводов установок с высокими и сверхкритическими параметрами пара; бесшовных холоднодеформированных, теплодеформированных, горячедеформированных, в том числе горячепрессованных, и горячепрессованных редуцированных труб, предназначенных для паровых котлов и трубопроводов установок с высокими и сверхкритическими параметрами пара; биметаллических бесшовных труб для судостроения с наружным слоем из стали и внутренним слоем из меди; электросварных холоднодеформированных труб, предназначенных для карданных валов автомобилей, тракторов и машин; горячедеформированных бесшовных труб, применяемых в судостроении для паропроводов; бесшовных горячедеформированных труб повышенной коррозионной стойкости и хладостойкости (ст.20А), с наружным диаметром от 89 до 426 мм класса прочности не менее К48, для внутрипромысловых трубопроводов, транспортирующих продукцию нефтяных скважин (низконапорных водоводов пресной и подтоварной воды при давлении до 2 МПа в системах заводнения пластов); труб бесшовных горячедеформированных нефтегазопроводных повышенной коррозионной стойкости и хладостойкости, предназначенных для строительства и эксплуатации нефтегазопроводов в условиях северной климатической зоны нефтедобывающих предприятий ОАО "Нижневартовскнефтегаз" при температуре окружающей среды от минус 50°С до +40 °С, температурой транспортируемых сред от +5 °С до +40°С; труб с наружным поперечным оребрением, выполненным с применением сварки токами высокой частоты, для паровых котлов, предназначенных для изготовления

поверхностей нагрева; труб, применяемых в авиационной технике; полосового проката, применяемого для изготовления деталей автомобилей.

#### Примечание

Конструкционная легированная сталь повышенной коррозионной стойкости и хладостойкости.

Марка стали	Состояние материала	Размер поковки, мм	Температура испытания, °С	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа
20Х2МА	Термически обработанное	до 550	20	400	550
			200	355	510
			300	310	460
			350	295	440
			400	265	410
			450	245	390
			500	220	365

#### 3.3.2. Расчет механических характеристик выбранного материала[7]

Расчетная температура:

За расчетную температуру принимаем температуру в корпусе аппарата:

$$t_p := 275 \quad \text{С}$$

Расчетное давление:

За расчетное давление принимаем:

$$P_p := 45 \quad \text{МПа}$$

Пробное давление:

$$P_{пр} \equiv 1.25 \cdot P_p \cdot \frac{\sigma_{доп20}}{\sigma_{доп}}$$

Допускаемое напряжение при  $t = 20$  С:

$$\sigma_{доп20} \equiv \eta \cdot \min \left( \frac{\sigma_{В20}}{n_B}, \frac{\sigma_{Т20}}{n_T} \right)$$

Для стали 20Х2МА из таблиц находим:

Предел прочности:

$$\sigma_{В20} := 550 \quad \text{МПа}$$

Предел текучести:

$$\sigma_{Т20} := 400 \quad \text{МПа}$$

Коэффициенты запаса прочности по пределу текучести и по пределу прочности при рабочих условиях нагружения:

$$n_T := 1.5$$

$$n_B := 2.2$$

Поправочный коэффициент:

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{доп20} := \eta \cdot \min \left( \frac{\sigma_{В20}}{n_B}, \frac{\sigma_{Т20}}{n_T} \right) \quad \sigma_{доп20} = 250 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение при расчетной температуре:

$$\sigma_{доп} \equiv \eta \cdot \min \left( \frac{\sigma_B}{n_B}, \frac{\sigma_T}{n_T} \right)$$

Для стали 20Х2МА из таблиц находим:

Предел прочности:

$$\sigma_B := 500 \quad \text{МПа}$$

Предел текучести:

$$\sigma_T := 350 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{\text{доп}} := \eta \cdot \min\left(\frac{\sigma_B}{n_B}, \frac{\sigma_T}{n_T}\right) \quad \sigma_{\text{доп}} = 227.3 \quad \text{МПа}$$

Пробное давление:

$$P_{\text{пр}} := 1.25 \cdot P_p \cdot \frac{\sigma_{\text{доп}20}}{\sigma_{\text{доп}}} \quad P_{\text{пр}} = 61.9 \quad \text{МПа}$$

$$P_{\text{пр}} = 61,9 \text{ МПа}$$

### 3.4. Определение пробного давления в змеевике[7]

по формуле[7]:

$$P_{np} = 1,25 * \frac{[\sigma_{20}]}{[\sigma]_t} * p$$

где Р – расчетное давление в змеевике и рубашке, МПа – 2,5;

$[\sigma]_{20}$  – допускаемое напряжение для материала стали при  $t = 20^\circ\text{C}$ , МПа – 147;

$[\sigma]_t$  – допускаемое напряжение для материала стали при  $t = 300^\circ\text{C}$ , МПа – 119;

$$P_{p3} := 2.4$$

$$\sigma_{320} := 147$$

$$\sigma_3 := 119$$

$$R_{\text{прз}} := 1.25 \cdot R_{\text{рз}} \cdot \frac{\sigma_{\text{з20}}}{\sigma_{\text{з}}} \quad R_{\text{прз}} = 3.7 \quad \text{МПа}$$

$$R_{\text{прз}} = 3,7 \text{ МПа.}$$

### 3.5. Расчет прибавки C

$$C \equiv C1 + C2 + C3$$

где:

C1 - прибавка для компенсации коррозии и трещин .

C2 - прибавка на компенсацию минусового допуска при прокате.

C3 - технологическая прибавка.

$$C1 = \Pi * t + C_{\text{э}}, \text{ где:}$$

$\Pi$  - проницаемость среды в материал.

t - срок службы аппарата.

$C_{\text{э}}$  - прибавка на эрозию.

При отсутствии данных о проницаемости, но известно что материал достаточно стоек в данной среде принимаем:

$$C1 := 2 \quad \text{мм}$$

Т.к .  $C2 + C3 < 0,05 S_{\text{р}}$ , то они не учитываются. Значит:

$$C := C1 \quad C = 2 \quad \text{мм}$$

### 3.6. Расчет толщины стенки цилиндрического корпуса

Для сосуда, нагруженного только внутренним давлением имеем:

$$S \equiv R \cdot \left( \frac{P_{\text{р}}}{\sigma_{\text{ДОП}} \cdot \phi - 1} \right) + C \quad S = 133.4 \text{ мм}$$

где:

$\phi$  - коэффициент прочности сварного шва.

$\phi := 1$  т.к. корпус изготовлен ковкой и сварных швов нет.

Принимаем:

$$S := 140 \text{ мм}$$

Внутренний диаметр ОВД:

$$D := 1200 \text{ мм}$$

Наружный диаметр ОВД:

$$D_{\text{но}} := D + 2 \cdot S \quad D_{\text{но}} = 1480 \text{ мм}$$

Наружный радиус ОВД:

$$R_{\text{н}} := \frac{D_{\text{но}}}{2} \quad R_{\text{н}} = 740 \text{ мм}$$

Внутренний радиус ОВД:

$$R_{\text{о}} := \frac{D}{2} \quad R_{\text{о}} = 600 \text{ мм}$$

Коэффициент формы:

$$\beta_{\phi} := \left[ \frac{2 \cdot (S - 2)}{D} \right] + 1 \quad \beta_{\phi} = 1.23$$

### 3.7. Расчет плоской крышки

Коэффициент ослабления крышки отверстиями:

Отверстия в крышке:

$$d1 := 100 \text{ мм}$$

$$d2 := 50 \text{ мм}$$

$$\psi_0 := 1 - \frac{d1}{D} \quad \psi_0 = 0.9$$

Расчетная толщина стенки определяется по формуле [12, стр 48]:

Толщина стенки крышки:

$$S1 := 0.4 \cdot D \cdot \sqrt{\left( \frac{Pp}{\sigma_{\text{ДОП}} \cdot \psi_0} \right)} + C \quad S1 = 225.1 \quad \text{мм}$$

Окончательно принимаем:

$$\underline{S1} := 230 \quad \text{мм}$$

### 3.8. Расчет конического днища

Радиус скругления:

$$\underline{R} := 140 \quad \text{мм}$$

Приведенный диаметр:

$$D_{\Pi} := \frac{D - 2 \cdot R}{\cos\left(\frac{\pi}{4}\right)} \quad D_{\Pi} = 1301 \quad \text{мм}$$

Толщина стенки конического днища:

$$S2 := \left( \frac{D_{\Pi}}{2} \right) \cdot \left( \frac{Pp}{e^{\sigma_{\text{ДОП}} \cdot \phi} - 1} \right) + C \quad S2 = 144.4 \quad \text{мм}$$

**Принятая толщина стенки днища  $S = 140$  мм.**

Считаем разницу допустимой, т.к. расчетное давление значительно превышает рабочее.

### 3.9. Расчет верхнего затвора с двухконусным кольцом

Принимаем геометрические размеры двухконусного уплотнительного кольца:

$$D = 1200 \quad \text{мм}$$

$$h_1 := 60 \quad \text{мм}$$

$$h_2 := 30 \quad \text{мм}$$

$$b := 30 \quad \text{мм}$$

$$\alpha := 30^\circ$$

Расчетное усилие для затвора с двухконусным обтюратором определяется по формуле [12, стр. 30]:

Высота обтюратора:

$$h_{cp} := \frac{h_1 + h_2}{2} \quad h_{cp} = 45 \quad \text{мм}$$

Средний диаметр уплотнительной поверхности:

$$D_{cp} := D + 0.5 \cdot (h_1 + h_2) \cdot \tan(\alpha) \quad D_{cp} = 912 \quad \text{мм}$$

Коэффициент, учитывающий влияние предварительной затяжки:

$$k := 1 \quad (\text{т.к. } P_p > 24,52 \text{ МПа})$$

Равнодействующая внутреннего давления на крышку:

$$F_p := \frac{\pi \cdot D_{cp}^2 \cdot P_p}{4} \quad F_p = 29380796 \quad \text{Н}$$

Осевая составляющая равнодействующей внутреннего давления на кольцо:

$$F_o := 0.5 \cdot \pi \cdot k \cdot P_p \cdot D_{cp} \cdot h_{cp} \quad F_o = 2900184 \quad \text{Н}$$

Расчетное усилие герметизации затвора:

$$F_B := F_p + F_o \quad F_B = 32280980 \quad \text{Н}$$



### 3.10. Расчет шпилек[7]

Принимаем, что шпильки изготовлены из стали 35Х ГОСТ 4543-7:

Находим механические свойства данной стали:

$$\sigma_B := 750 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_T := 570 \quad \text{МПа}$$

Коэффициент запаса прочности для шпилек:

$$n_T := 1.5$$

Допускаемое напряжение:

$$\sigma_D := \frac{\sigma_T}{n_T} \quad \sigma_D = 380 \quad \text{МПа}$$

Коэффициент, учитывающий тангенциальные напряжения:

$$k_1 := 1 \quad (\text{для двухконусного затвора})$$

Коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки между шпильками:

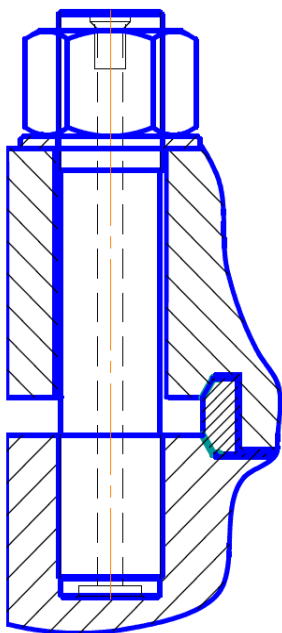
$$k_2 := 1.3 \quad (\text{для контролируемой затяжки})$$

Диаметр центрального отверстия в шпильке для подачи смазки:

$$d_0 := 5 \quad \text{мм}$$

Задаем число шпилек:

$$z := 16$$



Расчетный диаметр стержня шпильки верхнего затвора определяется по формуле [12, стр. 37]:

$$d_c := \sqrt{\left[ \frac{(4 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot F_B)}{\pi \cdot Z \sigma_D} \right] + d_0^2} \quad d_c = 93.878 \quad \text{мм}$$

Принимаем шпильку:

диаметр резьбы:

$$d_p := 105 \quad \text{мм}$$

длина резьбы гнезда корпуса:

$$L_1 := 115 \quad \text{мм}$$

глубина гнезда под шпильку:

$$L_2 := 130 \quad \text{мм}$$

### 3.11. Расчет фланца

Диаметр болтовой окружности фланца:

$$D3 \equiv \min \left( D + dp + 2 \cdot m, \frac{2.2 \cdot dp}{\sin \left( \frac{\pi}{2 \cdot z} \right)} \right)$$

Принимаем расстояние от внутренней поверхности фланца до края под шпильку:

$$m := 95 \quad \text{мм}$$

$$D31 := D + dp + 2 \cdot m \quad D31 = 1495 \quad \text{мм}$$

$$D32 := \frac{(2.2 \cdot dp)}{\sin \left( \frac{\pi}{2 \cdot z} \right)} \quad D32 = 2356.7 \quad \text{мм}$$

Принимаем:

$$D3 := D31 \quad D3 = 1495 \quad \text{мм}$$

Наружный диаметр фланца:

$$D2 := D_n + 2dp \quad D2 = 1690 \quad \text{мм}$$

Принимаем:

$$\alpha := 25^\circ$$

Тогда:

$$h3 := L2 + 0.25 \cdot dp \quad h3 = 156 \quad \text{мм}$$

$$h6 := 0.7 \cdot S \quad h6 = 98 \quad \text{мм}$$

Изгибающий момент относительно диаметрального сечения:

$$M := \left( \frac{10^{-3}}{2 \cdot \pi} \right) \cdot (F_p \cdot D_3 - F_o \cdot D_{cp}) \quad M = 6569919 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

Расчетная высота фланца:

$$h_5 := h_3 + \frac{0.25 \cdot (D_2 - D - 2 \cdot S)}{\tan(25)} \quad h_5 = 315.1 \quad \text{мм}$$

Принимаем:

$$h_5 := 315.1 \quad \text{мм}$$

Расчетная высота h6:

$$h_7 := \frac{P \cdot h_5}{\sigma_d \cdot \left[ \left( \ln \left( \frac{D_3 + dp}{D_3 - dp} \right) \right) + \left( \frac{D_3 + dp}{D_3 - dp} \right) \cdot \left( \ln \left( \frac{D_2}{D_3 + dp} \right) \right) \right]}$$

$$h_7 = 116 \quad \text{мм}$$

Допускаемый момент:

$$M_d := 1.125 \cdot \sigma_d \cdot (D_2 - D - 2 \cdot dp) \cdot (h_5^2 - h_7^2) \cdot 10^{-3}$$

$$M_d = 10273524 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

Условие прочности на изгиб выполняется:

$$M = 6569919 < 2 \cdot M_d = 20547048 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

### 3.12. Расчет массы аппарата

Плотность стали:

$$\rho := 7800 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Масса цилиндрической части:

$$M_c := \rho \cdot \left( \frac{H \cdot \pi}{4} \right) \cdot (D_H^2 - D) \cdot 10^{-6} \quad M_c = 22985.1 \quad \text{кг}$$

Масса конического днища:

$$M_{dn} := \rho \cdot \left( \frac{H \cdot \pi}{6} \right) \cdot [(R + S_2)^3 - R^3] \cdot 10^{-9} \quad M_{dn} = 313.8 \quad \text{кг}$$

Масса плоской крышки:

$$M_{кр} := \rho \cdot S_1 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\pi \cdot (D_2 \cdot 10^{-3})^2}{4} \quad M_{кр} = 4024.3 \quad \text{кг}$$

Масса фланца:

$$M_f := \rho \cdot \left[ \frac{\pi \cdot [D_2^2 - (D + 2 \cdot S_1)^2]}{4} \right] \cdot h_5 \cdot 10^{-9} \quad M_f = 194 \quad \text{кг}$$

Масса корпуса:

$$M_k := M_c + M_{dn} + M_{кр} + 2 \cdot M_f \quad M_k = 27711.2 \quad \text{кг}$$

Коэффициент формы днища:

$$K_2 := 0.071$$

Внутренний объем аппарата:

$$V := \left( \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot H \cdot 10^{-6} + K_2 \cdot D^3 \cdot 10^{-9} \quad V = 5.778 \quad \text{м}^3$$

Плотность раствора:

$$\rho_p := 890 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Масса раствора:

$$M_p := \rho_p \cdot V \quad M_p = 5142 \quad \text{кг}$$

Общая масса аппарата:

$$M := M_k + M_p \quad M = 32853.2 \quad \text{кг}$$

### 3.13. Расчет опор аппарата

Т.к.  $H / D > 5$ , то подвешиваем аппарат на монтажные перекрытия с помощью лап:

Принимаем число опор:

$$z := 4$$

Коэффициенты, зависящие от числа опор:

$$\lambda_1 := 1$$

Нагрузка на одну опору:

$$Q := \left( \frac{\lambda_1 \cdot P}{z} \right) + \frac{\lambda_1 \cdot M_{и}}{D + 2L}$$

где  $P$  - вес аппарата:

Т.к. внешний изгибающий момент  $M_{и} = 0$ , то:

$$Q := \frac{\lambda_1 \cdot M \cdot 9.81}{z} \quad Q = 80572.42 \quad \text{Н}$$

Опоры аппарата выбираем по МХ 64-56.

Основные геометрические характеристики опоры аппарата приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные геометрические лапы стальной подвесной типа I.

$Q_H := 60$	КН	$A := 45100$	$\text{мм}^2$	$L := 230$	мм
$B1 := 205$	мм	$H := 350$	мм	$S := 12$	мм
$a := 25$	мм	$d := 34$	мм	$B := 200$	мм
$I := 100$	мм				

Проверка прочности стенки под опорой - лапой без накладного листа .

Осевое напряжение от внутреннего давления:

$$\sigma_{\text{тох}} := \frac{P \cdot D}{4 \cdot S} \quad \sigma_{\text{тох}} = 712.5 \quad \text{МПа}$$

Окружное напряжение от внутреннего давления:

$$\sigma_{\text{тоу}} := \frac{P \cdot D}{2 \cdot S} \quad \sigma_{\text{тоу}} = 1425 \quad \text{МПа}$$

Максимальное напряжение от основных нагрузок:

$$\sigma_{\text{то}} := \max(\sigma_{\text{тох}}, \sigma_{\text{тоу}})$$

$$\sigma_{\text{то}} := \sigma_{\text{тоу}} \quad \sigma_{\text{то}} = 1425 \quad \text{МПа}$$

Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и от реакции опор:

$$\sigma_m := \sigma_{\text{то}} + \frac{k1 \cdot Q \cdot L}{D \cdot S^2}$$

где  $k1$ - коэффициент, зависящий от  $\gamma$ , и отношения  $H / D$ :

$$\gamma := \frac{D}{2 \cdot S} \quad \gamma = 50$$

$$\frac{H}{D} = 0.3$$

Находим:

$$k_1 := 0.35$$

Расстояние от корпуса до опоры:

$$L = 230 \quad \text{мм}$$

$$\sigma_m := \sigma_{m0} + \frac{k_1 \cdot Q \cdot L}{D \cdot S^2} \quad \sigma_m = 1532.24 \quad \text{МПа}$$

Находим:

$$k_2 := 0.58$$

Максимальные напряжения изгиба от реакции опор:

$$\sigma_{и} := \frac{k_2 \cdot Q \cdot L}{H \cdot S^2} \quad \sigma_{и} = 221.5 \quad \text{МПа}$$

Условие прочности:

$$\left( \frac{\sigma_m}{\sigma_{и}} \right)^2 \cdot \frac{0.8 \cdot \sigma_{и}}{A \cdot \sigma_T} \leq 1$$

$$A := 1 \quad (\text{для условий эксплуатации})$$

Предел текучести:

$$\sigma_T := 1380 \quad \text{МПа}$$

$$C := \left( \frac{\sigma_m}{\sigma_{и}} \right)^2 \cdot \left( \frac{0.8}{A} \right) \cdot \frac{\sigma_{и}}{\sigma_T}$$

$$C = 0$$

Т.к.  $C < 1$ , то условие прочности выполняется.



### 3.14. Строповочные устройства

В качестве строповых устройств принимаем "крюки сварные" исполнения 1.

Принимаем число крюков:

$$z := 2$$

Нагрузка на один крюк:

$$Q_1 := \frac{\lambda_1 \cdot 9.81 \cdot M}{z} \quad Q_1 = 161145 \quad \text{Н}$$

## **Заключение**

В результате проделанной работы по заданному индивидуальному заданию был разработан и рассчитан аппарат высокого давления для химической промышленности. Конструкция данного аппарата соответствует требованиям химико - технологического процесса, эксплуатационным параметрам и характеристикам, производительности, мощности, условиям транспортирования и монтажа.

## **4. Социальная ответственность**

### **Введение**

В общем понимании социальная ответственность включает производство продукции и оказание услуг надлежащего качества, соблюдение прав персонала на труд, выполнение требований к безопасности и гигиене труда, к промышленной безопасности и охране окружающей среды, экономное ресурсосбережение, участие в социальных мероприятиях.

Существуют две различные точки зрения на то, как следует вести себя организациям, чтобы считаться социально ответственными. Согласно одной из них, организация социально ответственна, когда максимально увеличивает прибыль, не нарушая законов и норм государственного регулирования, т.е. преследует только свои экономические цели. Согласно другой точке зрения, организация в дополнение к ответственности экономического характера обязана учитывать человеческие и социальные аспекты воздействия своей деятельности на работников и потребителей, а также вносить определенный позитивный вклад в решение социальных проблем в целом.

Таким образом, социальная ответственность представляет собой реализацию не только своих экономических интересов и целей, но и учет социальных последствий воздействия деловой активности на собственный персонал, потребителей и организации, совместно с которыми осуществляется та или иная деятельность.

В данном разделе рассмотрена система мероприятий по обеспечению безопасных и безвредных условий труда при конструировании и содержании производства полиэтилена низкой плотности, а также поведение задействованного персонала в чрезвычайных ситуациях.

Организация обязуется выполнять социальные обязательства, предписываемые законом, нести соответствующие расходы. Компания готова добровольно нести необязательные расходы для социальных нужд, установленных налоговым, экологическим и трудовым законодательством, исходя из законных и моральных соображений.

**Технологический процесс производства полиэтилена высокого давления (ПЭВД) включает следующие основные стадии [22]:**

- компримирование этилена до давления реакции 150-300 Мпа с помощью компрессоров;
- дозирование инициатора насосами высокого давления;
- дозирование модификатора;
- полимеризации этилена при температуре 150-320 °С;
- разделение полиэтилена и непрореагировавшего этилена;
- охлаждение и очистка непрореагировавшего этилена (возвратного газа);
- грануляция расплавленного этилена экструзионным методом.

#### **4.1. Производственная безопасность**

##### **4.1.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов**

**Таблица 4.1.**

**Основные элементы производственного процесса, формирующие  
опасные и вредные факторы**

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Ф а к т о р ы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ)[13]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Контроль за нормальным протеканием технологического	Отклонение показателей микроклимата в помещении	Опасность поражения электрическим током	ГОСТ 12.0.003– 74.ССБТ; СанПиН 2.2.4.548-96; ГОСТ 12.1.038-

процесса	Недостаточная освещенность рабочей зоны		82 ССБТ
Обслуживание технологического оборудования и сосудов и трубопроводов под высоким давлением	Превышение уровней шума	Опасность взрыва и пожара, механические травмы, давление (разрушение аппарата, работающего под давлением)	ГОСТ 12.0.003– 74.ССБТ; СНиП П-12-77; <a href="#">ГОСТ 12.1.0 07-76 ССБТ</a>

#### **4.1.2. Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на работающих**

##### **4.1.2.1. Отклонение показателей микроклимата в помещении**

Важным фактором на проектируемой установке, является исключение вредного воздействия микроклиматических факторов на организм человека и созданием нормальных условий труда в рабочей зоне. На данной установке параметры воздушной среды соответствуют СанПиН 2.2.4.548–96 [19]. Он устанавливает оптимальные и допустимые микроклиматические условия для теплого, холодного и переходного периодов года в зависимости от тяжести выполняемых работ.

**Таблица 4.2**

**Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне  
производственных помещений СанПиН 2.2.4.548–96**

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, С <sup>0</sup>		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/сек	
		Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение
Холодный	IIa	20	17-23	70	15-75	0,3	0,1-0,3
Теплый	IIa	21	18-27	65	15-75	0,3	0,1-0,4

Исходя из таблицы 6.2, микроклиматические условия в рабочей зоне соответствуют нормам в рабочей зоне производственных помещений.

( СанПиН 2.2.4.548–96) [19]. В случае отклонения от норм, предусмотрено наличие систем отопления и кондиционирования.

#### **4.1.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны**

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1 [18].

**Таблица 4.3**

**Параметры систем естественного и искусственного освещения на рабочих местах по**

**СанПиН 2.1.1.1278-03**

Наименование рабочего места	Тип светильника и источника света	Освещенность при совмещенной системе, лк	
		Фактически	Норм. значение
Центральный пульт управления	ЛЛ	520	500

В случае отключения освещения в производственных помещениях предусмотрено аварийное освещение.

#### 4.1.2.3 Превышение уровней шума

Основными источниками шума в цехе полиэтилена высокого давления являются электродвигатели, приводящие в действие насосы и компрессоры, а также движущиеся детали самих компрессоров и насосов: ротор и рабочее колесо. Уровень шума в помещении цеха, в непосредственной близости компрессора или насоса 87 дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 500 Гц, что превышает допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука для постоянных рабочих мест и рабочих зон в производственных помещениях и на территории предприятий, в соответствии с ГОСТ 12.1.003–83 с изм. 1999г. [14].

Длительное регулярное нахождение в помещении ПЭВД без соответствующих средств защиты от шумового воздействия может повлечь шумовую болезнь (ухудшение слуха), а со временем и полную потерю слуха.

## Методы и средства защиты от шума:

Средства и методы защиты от шума по отношению к защищаемому объекту подразделяют на коллективные и индивидуальные средства защиты [14].

Индивидуальные средства защиты: противοшумные наушники, вкладыши, шлемы и каски, противοшумные костюмы, антифоны, “беруши”.

Используют: звукопоглощающие материалы, звукоизолирующие кожухи и экраны, звукоизолированные кабины [15].

Таблица 4.4

Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука

(ГОСТ 12.1.003–83 с изм. 1999г.) [14]

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Помещения управления, рабочие комнаты	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80



#### 4.1.2.4 Опасность поражения электрическим током.

##### *Электробезопасность.*

В соответствии с «Правилами устройства электроустановок»[23], Помещение Центрального пульта управления производства полиэтилена относится ко второму классу электробезопасности:

- помещения *с повышенной опасностью* поражения людей электрическим током характеризуются наличием в них одного из следующих условий:
  - влажность, превышающая 75%;
  - токопроводящая пыль;
  - токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные);
  - высокая температура (выше + 35°C);
- возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединения с землёй металлоконструкциям зданий, механизмов, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.[20]

##### **Номенклатура видов защиты [17]**

При прямых прикосновениях :

- защитные оболочки;
- защитные ограждения (временные или стационарные);
- безопасное расположение токоведущих частей;
- изоляция токоведущих частей;
- малое напряжение;
- защитное отключение;
- предупредительная сигнализация, блокировка, маркировка, знаки безопасности и плакаты.

При косвенных прикосновениях применяют:

- защитное заземление;
- зануление;
- выравнивание потенциалов;
- защитное отключение;
- изоляцию нетоковедущих частей;
- электрическое разделение сети;
- малое напряжение;
- контроль сопротивления изоляции;
- компенсацию токов замыкания на землю;
- средства индивидуальной защиты;

В соответствии с «Правилами устройства электроустановок» [23], Помещение Центрального пульта управления производства полиэтилена относится ко второму классу электробезопасности:

Электрооборудование в здание должно отвечать требованиям правил устройств электроустановок. Все части технологического оборудования, которые проводят статическое электричество, необходимо заземлить согласно ГОСТ 12.4.124-83 [5].

Средства индивидуальной защиты в зависимости от назначения в соответствии с ГОСТ 12.4.124-83.

Для защиты персонала от поражения электрическим током применяются диэлектрические перчатки, коврики, сапоги, резиновые фартуки и прорезиненные костюмы, инструмент с изолированными ручками. [3]

## **Средства коллективной защиты**

К средствам коллективной защиты от поражения электрическим током относятся: заземление, зануление, защитное отключение, изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, сигнализация и плакаты, электрозащитные средства, электрическое разделение сетей.

Предусмотрена защита зданий, сооружений, оборудования, трубопроводов от прямых попаданий ударов молнии путем присоединения корпусов установок, отдельных емкостей и аппаратов к заземляющему контуру и установкой молниеприемников. В соответствие с СН 305-77 [6].

## **4.2 Экологическая безопасность**

При эксплуатации теплообменного оборудования, адсорбционного оборудования, фильтров пыли, насосов и прочего оборудования цеха газообразные отходы производства, загрязняющие окружающую среду, отсутствуют. Основными отходами производства являются: сточные воды, содержащие примеси масел, а также пыль, задерживаемая фильтром пыли во время очистки воздуха [22].

Охлаждение теплообменного оборудования производится от закрытой системы оборотного водоснабжения.

Нормальная воздушная среда в помещениях цеха обеспечивается системами отопления и вентиляции.

### **4.2.1 Охрана почв**

Отработанное смазочное масло вывозится за пределы предприятия и подвергается регенерации на специальных регенерирующих установках. Смазочное масло, которое не подлежит регенерации, утилизируется. В результате утилизации отработанное масло преобразуется в гидрофобный порошок, обладающий высокими силикатными свойствами, который можно использовать в

строительстве при изготовлении гидрозащитных оснований, площадок, при строительстве хранилищ, отстойников, обсыпок дорог и др [22].

#### **4.2.2 Охрана гидросферы**

В цехе предусмотрена ливневая и хозяйственно бытовая канализация. В нее поступают сточные воды от мытья полов в помещениях. Основным загрязнителем сточных вод являются следы масел, по содержанию не превышающие ПДК. Все сточные воды подвергаются механической и химической очистке на очистных сооружениях предприятия. [22]

### **4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

#### **4.3.1 Пожарная и взрывная безопасность**

В соответствии с классификацией производств по пожарной опасности (ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности") [21], зданию цеха полиэтилена высокого давления присвоена категория пожарной опасности В, которая включает в себя производства, связанные с обработкой или применением твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой вспышки паров выше 120° С (смазочное масло).

Возможные источники и причины пожаров и взрывов на рабочем месте:

- загорание смазочных масел и обтирочного материала при неправильном их хранении;
- загорание промасленной спецодежды и материалов при соприкосновении их открытым огнем или горячими частями оборудования и трубопроводов;
- загорание промасленной одежды и смазочных масел от попадания на них искр.

Организационные противопожарные меры включают в себя мероприятия: режимного характера, обучение и разработку планов эвакуации людей в случае

пожара. Технические меры – это современные автоматические средства сигнализации, которые должны быть установлены в каждом помещении цеха, методы и устройства ограничения распространения огня, автоматические стационарные системы тушения пожаров. Также помещение цеха должно быть оснащено первичными средствами пожаротушения- огнетушитель порошковый ABC(E) для класса А, которые располагаются на щитах типа ЦП-А (щит пожарный для очагов пожара класса А) на видном и легкодоступном месте. ЦПУ должен быть оснащен кнопочным извещателем, с помощью которого можно своевременно информировать пожарную службу [22].

В целях снижения вероятности возникновения взрыва или пожара на производстве следует выполнять *общие требования по охране труда* .

#### **4.3.1 Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и социального характера**

При возникновении загорания (пожара) независимо от его размера, аппаратчик должен [22]:

- немедленно вызвать пожарную команду по телефону или при помощи кнопочного извещателя;
- Вызвать скорую помощь и газоспасательный отряд.
- сообщить о загорании (пожаре) ИТР производства;
- приступить к тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения;
- Остановить технологический процесс.
- при угрозе жизни - покинуть помещение.

**Превентивные меры защиты от чрезвычайных ситуаций** - это предпринимаемые заблаговременно меры по уменьшению риска ЧС и смягчению их негативных последствий, по прогнозу времени и места

возникновения опасных природных и техногенных явлений, как правило, на основе прогноза их частоты (или вероятности за заданный интервал времени) на определенной территории.

Превентивные меры защиты можно классифицировать по цели, уровню принимаемых решений на их осуществление, факторам риска и другим признакам.

Содержание мер по предупреждению ЧС многообразно и разномасштабно. Предупреждение имеет в виду, во-первых, предотвращение возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (снижения риска их возникновения), во-вторых, уменьшение возможных масштабов чрезвычайных ситуаций (снижение возможных объемов потерь и ущерба).

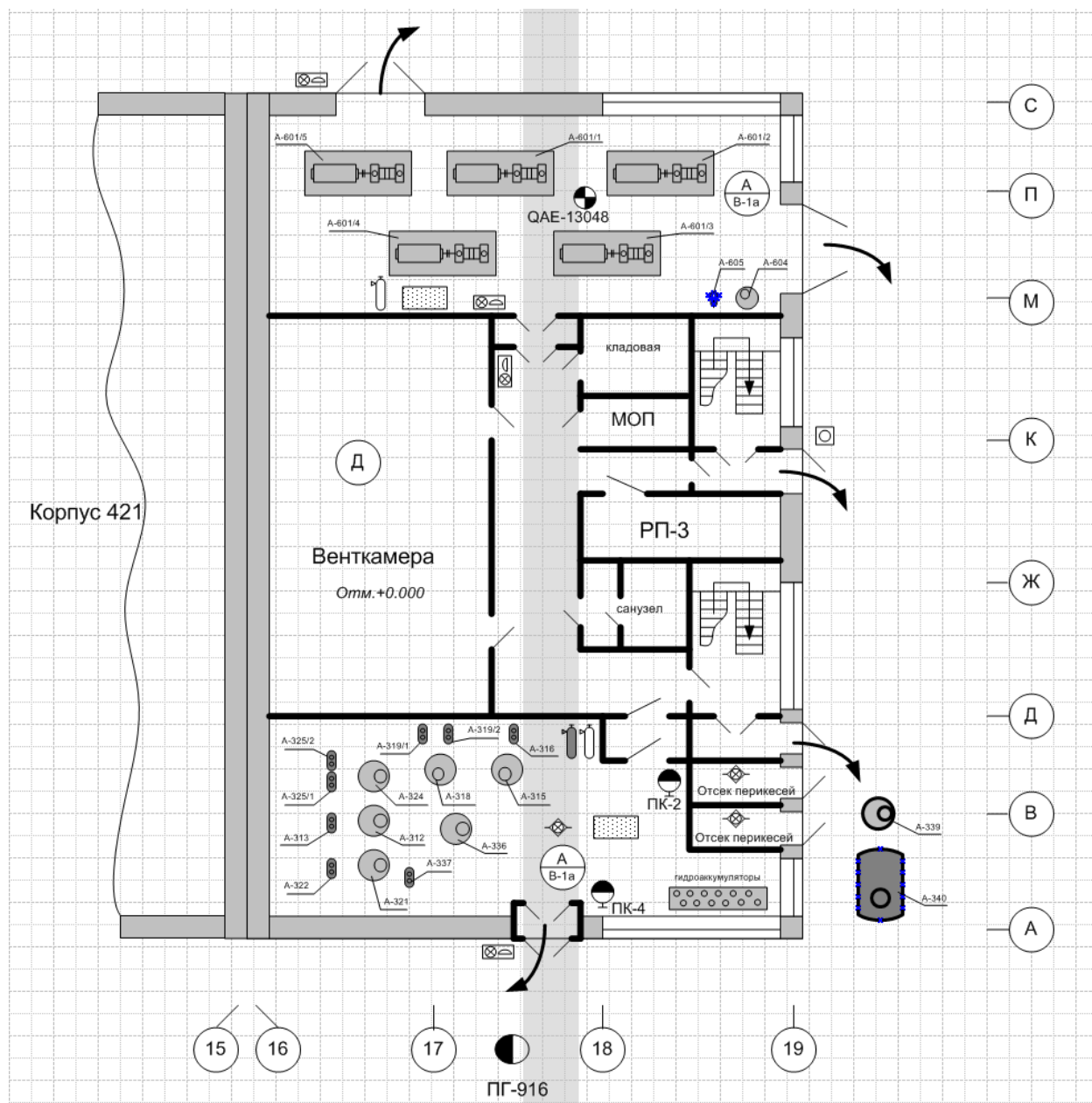
#### **Классификация превентивных мер защиты по цели:**

- исключение (снижение частоты) событий, инициирующих ЧС;
- снижение вероятности перерастания опасного явления в ЧС (инициирующего события в стихийное бедствие или аварию).

Снижение частоты событий, инициирующих ЧС (опасных природных, техногенных и социальных явлений), достигается путем проведения следующих мероприятий:

- инженерно-геологического районирования территории и в соответствии с его результатами рационального размещения объектов территориального экономического комплекса, в частности, рационального выбора площадок для потенциально опасных объектов;
- предупреждения (снижения интенсивности) некоторых опасных природных явлений;
- профилактики возникновения аварий (диагностика оборудования, планово-предупредительные ремонты, техническое обслуживание);
- борьбы с терроризмом и преступностью.

## Схема эвакуации при ЧС.



### Условные обозначения



Пожарный гидрант



Огнетушитель углекислотный



Огнетушитель пенный



Пожарный лафет



Пожарный кран



Ящик с песком



Защита помещения автоматической системой пожаротушения



Пост светозвуковой сигнализации ДВК, «Загазовано»



Промтелевидение



Датчик ДВК



Кнопка аварийного отключения вентиляции



Пожарный извещатель (ПКИЛ)



Пути эвакуации



Аварийный шкаф находится в помещении ЦПУ корпуса 435 отм. 6.000.

Управление клапанами НІЕ-Н-14001, 14025, 14048, 14008, 14032, 14046, 14073, 14079, 16001 производится с ЦПУ корпуса 435.



## **4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **4.4.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.**

Согласно статье 224 ТК РФ работодатель обязан соблюдать ограничения на привлечение отдельных категорий работников к выполнению тяжелых работ, во вредных и (или) опасных условиях. Например, трудовое законодательство ограничивает использование труда женщин на работах в тяжелых, вредных или опасных условиях (ст. 253 ТК РФ). Молодые люди не достигшие 18 лет, на вредные или опасные работы не допускаются. Об этом говорится в ст. 265 ТК РФ.

У сотрудников, который заняты на работах во вредных или опасных условиях, продолжительность рабочего времени сокращается на 4 часа в неделю. То есть она не превышает 36 часов в неделю (ч. 1 ст. 92 ТК РФ). При этом ежедневная рабочая смена при 36-часовой рабочей неделе не может превышать 8 часов, а при рабочей неделе 30 часов и менее - 6 часов (ч. 2 ст. 94 ТК РФ).

### **4.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.**

При проектировании объектов необходимо предусматривать максимально возможное размещение аппаратуры и оборудования вне зданий. Компоновочные решения технологических установок на объекте должны обеспечивать нижеперечисленные требования:

- Минимальные капитальные и эксплуатационные расходы;
- Технологическую взаимозаменяемость;
- Последовательность технологических процессов с минимальным количеством встречных перекачек;
- Оптимальные размеры рабочей площади агрегатов, технологических блоков, установок;

- Деление на участки, обеспечивающие возможность опорожнения от продукта всех аппаратов и трубопроводов, расположенных на площадке;
- Свободный доступ к оборудованию, арматуре. Приборам контроля и автоматизации; свободный подъезд транспорта и размещение подъемных средств;
- Возможность проводить ремонтные работы с помощью средств механизации.

Расстояния между аппаратами, колоннами, теплообменниками и другим оборудованием, расположенными внутри одной технологической установки, следует принимать исходя из условий максимального удобства обслуживания, ремонта и выполнения требования по охране труда и пожарной безопасности.

Необходимо предусмотреть:

- Основные проходы по обслуживанию щитов управления шириной не менее 2 м;
- Основные проходы по обслуживанию компрессоров, насосов и аппаратов, имеющих местные контрольно-измерительные приборы, и проходы при наличии постоянных рабочих мест шириной не менее 1.5 м.
- Проходы между аппаратами и стенами помещений при условии кругового обслуживания - шириной не меньше 1 м.
- Проходы для осмотра периодической проверки, регулирования аппаратов и приборов – шириной не менее 0.8 м;
- проходы между газовыми компрессорами – не менее 1.5 м. Ширина прохода малогабаритными машинами (шириной и высотой до 0.8 м.) - не менее 1 м.
- расстояние между фундаментами «в свету» для вертикальных аппаратов массой не более 40 м. должны быть не менее 3.5 м.

## 5. Экономика производства

### 5.1 Расчёт производственной мощности

Под производственной мощностью химического предприятия (производства, цеха) понимается максимально возможный годовой выпуск готовой продукции в номенклатуре и ассортименте, предусмотренных на плановый период при наилучшем использовании производственного оборудования, площадей в результате внедрения инноваций или проведения организационно-технических мероприятий.

Требуемые производственные мощности[24]:

$$M = \Pi_{\text{час}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot n,$$

где,  $\Pi_{\text{час}}$  – часовая производительность ведущего оборудования

$$\Pi_{\text{час}} = 17 \text{ т/час};$$

$T_{\text{эфф}}$  – эффективное время работы оборудования;

$n$  – количество однотипного оборудования;

$$n = 1;$$

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{н}} - T_{\text{ппр}} - T_{\text{то}}$$

$T_{\text{н}}$  – номинальный фонд работы оборудования;

$$T_{\text{н}} = 365 \text{ дней} \cdot 24 \text{ часа} = 8760 \text{ часов}$$

Таблица 5.1

#### Продолжительность выполняемых работ при капитальном ремонте

Вид работы	Ориентировочное время работы, день
1. Пропарка отделителя высокого давления	3
2. Очистка внутренней стенки	2

отделителя от полимера	
3. Капитальный ремонт трубопроводов и арматуры.	6
4. Калибровка КИПиА.	1

$T_{\text{ПР}}$  – время простоя в ремонтах;

$T_{\text{ПР}} = 12 \text{ дней} \cdot 24 \text{ часа} = 288 \text{ часов};$

Поскольку производство непрерывное - технологических остановок не предусмотрено.

$T_{\text{ТО}}$  – время технологических остановок;

$T_{\text{ТО}} = 0 \text{ часов};$

$T_{\text{эфф}} = 8760 - 288 - 0 = 8472 \text{ часа}$

Производственная мощность:

$M = 8472 \text{ часа} \cdot 17 \text{ т/час} \cdot 1 = 144024 \text{ т}$

Таблица 5.2

### Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8760)
Номинальный фонд рабочего времени	365 (8760)
Простой оборудования в ремонтах	12 (288)
Эффективное время работы оборудования за год	353 (8472)

Для характеристики использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты использования оборудования.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эф}}/T_{\text{н}} = 8472 / 8760 = 0.97$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}}/Q_{\text{max}} = 17/19 = 0.89$$

где  $Q_{\text{пп}}$  – производительность единицы оборудования в час;

$Q_{\text{max}}$  – максимальная производительность в единицу времени.

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им.}} = K_{\text{экс}} \cdot K_{\text{инт}} = 0.97 \cdot 0.89 = 0.8633$$

Для определения реального выпуска продукции рассчитывается производственная программа ( $N_{\text{год}}$ ):

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} \cdot M = 0.8633 \cdot 144024 = 124336 \text{ т/год}$$

где  $K_{\text{им}}$  – коэффициент использования мощности.

### Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

1. Расчет численности персонала (табл. 3):

- основных рабочих;

Таблица 5.3

#### Расчет численности персонала основных рабочих

Категория персонала	Норма обслуживания, $N_{\text{обс}}$	Число смен в сутки, $S$	Число единиц оборудования, $n$	Явочная численность, $N_{\text{яв}}$	Эффективное время рабочего, $T_{\text{эфф}}$ , час	Коэф-т перехода, $K_{\text{пер}}$	Списочная чис-ть, $N_{\text{сп}}$
Основные рабочие	0.3	2	14	24	1446	2.9	70
Всего							70

2. Расчет баланса эффективного годового времени одного среднесписочного работника (табл. 3.4).

Таблица 5.4

**Баланс эффективного времени  
одного среднесписочного работника**

№, п/п	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	4380
2.	Нерабочие дни		
	Выходные	182.5	2190
	Праздничные	-	-
3.	Номинальный фонд рабочего времени	182.5	2190
4.	Планируемые невыходы		
	Очередные и дополнительные отпуска (смены)	30	720
	Невыходы по болезни (смены)	10	168
	Отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	22	
5.	Эффективный фонд рабочего времени	120.5	1446

3. Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности (пример графика сменности представлен в табл. 3.5).

Таблица 5.5

**График сменности**

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	А		12	12		4	12	8			12	12		4	12
2	Б	12		4	12	8			12	12		4	12	8	
3	В	4	12	8			12	12		4	12	8			12
4	Г	8			12	12		4	12	8			12	12	

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8			12	12		4	12	8			12	12		4	12
	12	12		4	12	8			12	12		4	12	8	
12		4	12	8			12	12		4	12	8			12
4	12	8			12	12		4	12	8			12	12	

**Часы работы: 8<sup>00</sup> - 20<sup>00</sup>**

**20<sup>00</sup> - 8<sup>00</sup>**

Таблица 5.6

**Порядок расчёта годового фонда заработной платы цехового персонала**

Этапы расчёта	Содержание расчётов	Подробно
1	2	3
1. Расчёт численности персонала: • основных рабочих;	Явочная и списочная численность	табл. 3
2. Баланс эффективного годового времени одного среднесписочного работника	Таблица расчёта Тэфф в днях и часах	табл. 4
3. График сменности	Таблица	табл. 5
4. Расчёт сменоборота и количества выходных дней в году	Тсо, Твых	табл. 4 табл. 5
5. Расчёт тарифного фонда зарплаты	Зтар=Тст·Тэфф, Где Тст – тарифная ставка соответствующего разряда рабочего	
6. Премииальные (Дпрем)	20 – 70 % от Зтар	45%
7. Доплата за работу в ночное время (Днв)	40 % от (Тст тнв), Где тнв – время ночной работы (определяется по графику	

	сменности)	
8. Доплата за работу в праздничные дни (Дпр)	$T_{пр} \cdot T_{ст} \cdot Няв$ , Где $T_{пр}$ – количество праздников в году; Няв – явочная численность рабочих	
9. Доплата из фонда мастера (ДФм)	3 % от $Зтар$	
10. Доплата за бригадирство (Дбр)	Полагается только бригадирам 15% от ЗП	
11. Основная зарплата (Зос)	$Зтар + Дпрем + Днв + Дпр + Дфм + Дбр$	
12. Дополнительная зарплата (Здоп)	$(Дн \cdot Зосн) / Тэфф$ , Где $Дн$ – количество дней невыхода на работу по планируемым причинам (отпуск, ученические, гособязанности)	
13. Районный коэффициент	1.3	
14. Начисления на зарплату	30 % от $(Зосн + Здоп)$	

Таблица 5.7

### Потребность в персонале и заработной плате

Наименование категорий работников	1-ый год			
	Потребность, чел.	Среднегодовая зарплата, тыс. руб.	Годовые затраты на зарплату, тыс. руб.	Доплаты, тыс. руб.
Основные рабочие	70	20	16800	20160



## 5.2 Расчет затрат на производство продукции

### 5.2.1. Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Определение затрат на сырье и материалы производим исходя из принятого объема производства, удельных норм расхода сырья и материалов и планово-заготовительных цен.

Таблица 5.8

#### Расчет годовой потребности в сырье и материалах[24]

Наименование сырья	Ед.изм.	Цена Тыс.руб	Расход, т		Затраты, тыс. руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем пр-ва	На единицу готовой продукции	На весь объем пр-ва
1. Этилен	т	45	1	124336	45	5595120
2. Инициаторы	т	200	0.00033	41.03	0.066	8206
<b>Итого</b>					45.066	5603326

### 5.2.2. Расчет годовой потребности в электроэнергии

Таблица 5.9

#### Расчет потребности электроэнергии

Наименование оборудования	Мощность (суммарная), кВт	Эффективный фонд времени оборудования	Суммарно-потребляемая электроэнергия, кВт*ч
Электродвигатели	6536	8472	55372992
		8472	55372992

### 5.2.3. Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учесть:

- полную стоимость зданий;

- полную стоимость оборудования;
- нормы амортизационных отчислений.

Расчет амортизационных отчислений и остаточной стоимости основных фондов представлен в таблице 10.

Сумма **амортизационных отчислений** (АО) определяется по формуле:

$$AO = C_{\text{оф}} \cdot H / 100\%,$$

где  $C_{\text{оф}}$  – среднегодовая стоимость основных фондов, руб;

$H$  – норма амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов, % к их балансовой стоимости.

Таблица 5.10

Наименование основных фондов	Норма амортизации , %	1-й год		2-ой год	
		$C_{\text{оф}}$ , тыс.руб.	АО <sub>1</sub> , тыс.руб.	АО <sub>2</sub> , тыс.руб.	Остаточная стоимость тыс.руб.
1. Машины и оборудование (старое)	14	536800	75152	75152	386496
2. Машины и оборудование (новое)	14	144432	20220,48	20220,48	103991,04
3. Здания	5	80000	4000	4000	72000
Итого:					589487,04

Таблица 5.11

### Инвестиции

#### 1) Затраты на покупку оборудования

Наименование оборудования	Кол-во, шт	Цена за единицу, тыс. руб	Общая стоимость, тыс.руб
Основные аппараты и механизмы			
Отделитель высокого давления	1	15000	15000
Компрессорное оборудование	5	4000	20000
Насосное оборудование	5	1000	5000
Инвентарь	4	400	1600
Дополнительные емкости	10	500	5000
Итого			46600

Таблица 5.12

#### 2) Расходы на наладку и монтаж оборудования

Наименование нормативов	% от стоимости оборудования, тыс.руб.
1. На устройство фундаментов	4660 (10%)
2. На технологические трубопроводы	9320 (20%)
3. На антикоррозионные работы	2330 (5%)
4. На кабельные разводки	2330 (5%)

5. На КИПиА	4660 (10%)
6. На монтаж оборудования	10252 (22%)
8. На вспомогательное оборудование	2330 (5%)
Итого	35882

### 3) Расходы на строительство защитных сооружений.

Наименование работ	Стоимость, тыс.руб.
1.Строительство защитных сооружений	27693

Таблица 5.13

### Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (Q)

$N_{\text{год}} = 124336 \text{ т/год}$

Наименование статей расхода	Ед. из м.	Цена за ед. тыс. руб.	Расходы на ед.		Затраты, руб		Примечание
			На 1 т	На $N_{\text{год}}$	На 1 т, тыс.руб.	На $N_{\text{год}}$ , тыс.руб.	
1. Сырье и основные материалы.							
Этилен	т	45	1	124336	45	5595120	табл. 8
2. Вспомогательные материалы							
- Инициаторы	т	200	0.00033	41.03	0.066	8206	табл. 8
3. Энергия: - электроэнергия	кВт	0.004	445	55372992	1.78	221318.08	табл. 9

4. Заработная плата основных рабочих					0.297	36960	табл. 7
5. Отчисления на социальные нужды					0.089	11088	30% от ст.4
6. РСЭО							
6.1. Амортизация активной части основных фондов					0.767	95372.48	табл. 10
6.2. Затраты на ремонт АЧОФ					0.2301	28611.744	30% от ст.6.1
7. Цеховые расходы							
7.4. Охрана труда и ТБ.					0.042	5174.4	14% от ЗП рабочих
Производственная себестоимость					48.27	6001850,70 4	
Условно-переменные затраты					46.84	5824644,0 8	
Условно-постоянные затраты					1.43	177206,624	

$$Ц = 48.27 * 1.25 = 60.34 \text{ тыс.руб.}$$

Принимаем цену, равную рыночной  $Ц = 70 \text{ тыс.руб.}$

### 5.3. Анализ безубыточности

Цель анализа – определение **точки безубыточности**, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. В точке безубыточности выручка от продажи продукции ( $B_{пп}$ ) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$B_{пп} = \text{Изд.}_{\text{пост}} + \text{Изд.}_{\text{пер}}$$

$$B_{пп} = 177206,624 + 5824644,08 = 6001850,704$$

Определяем точку безубыточности[24]:

Точка безубыточности определится следующим образом:

$$Q_{\text{кр.}} = \frac{\text{Изд.}_{\text{пост}}}{C_i - \text{Изд.}_{\text{пер}}},$$

$$Q_{\text{кр.}} = 177206.624 / (70 - 46.84) = 7651,4 \text{ тонн.}$$

В точке безубыточности при производстве 7651,4 тонн прибыль составит 535579,800 тыс.руб. (7651.41тонн \* 70 тыс.руб.)

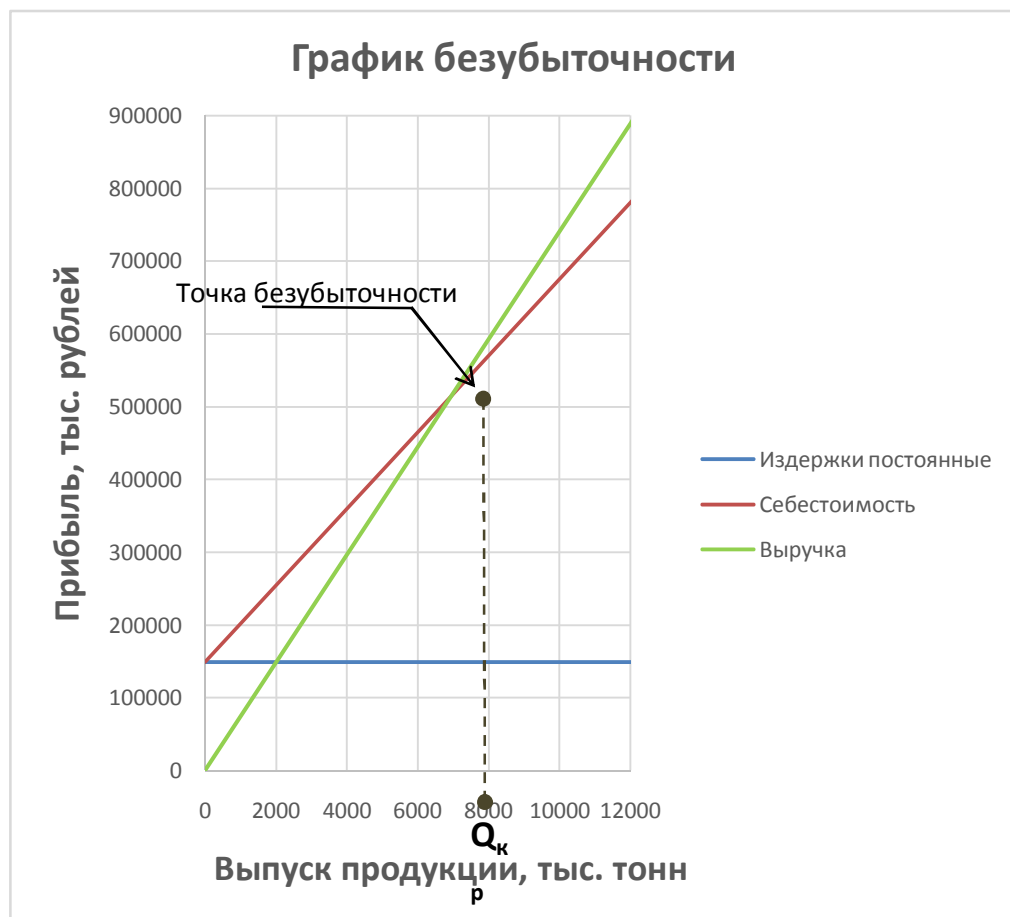


Рис 1- График определения точки безубыточности

#### 5.4. Срок окупаемости инвестиций

Метод расчета срока окупаемости инвестиций **РР** состоит в определении того периода, через который первоначальные инвестиции будут возвращены прибылью или чистыми денежными поступлениями. Этот метод ориентирован на краткосрочную оценку, рассматривает, как скоро инвестиционный проект окупит себя. Чем быстрее проект окупит первоначальные затраты, тем эффективнее проект. Использование данного показателя предполагает установление приемлемого значения срока окупаемости как меры оценки эффективности инвестиций.

Чем больше нужна ликвидность инвестору, тем короче должен быть срок окупаемости.

Метод расчета срока окупаемости инвестиций **РР** заключается в том, что сумма первоначальных инвестиций делится на величину годовых поступлений (чистой прибыли):

$$PP = \frac{I_0}{ЧДП},$$

где **I<sub>0</sub>** – первоначальные инвестиции;

**ЧДП** – чистый денежный поток от операционной деятельности;

Данный подход применяется в тех случаях, когда величины чистых денежных поступлений примерно равны по годам.

$$I_0 = 2500000,000 \text{ тыс.руб.}$$

$$PP = I_0 / ЧДП = 2500000,000 / 2256707,9168 = 1,108 \text{ года}$$

$$1,108 \cdot 12 \approx 13,296 \text{ мес.}$$

Срок окупаемости инвестиционного проекта составляет 13,296 месяцев.

## 5.5. Технико-экономические показатели

Таблица 5.16

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год
1. Объем производства	тыс. т	124,336
2. Объем продаж	тыс. т	124,336
3. Цена 1 тонны	тыс. руб.	70,000
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс. руб.	8703520,000
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	6001850,704
5.1.Издержки переменные	тыс. руб.	5824644,08
5.2.Издержки постоянные	тыс. руб.	177206,624



6. Операционная прибыль (4–5)	тыс. руб.	2701669,296
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	540333,8592
8. Чистая прибыль (6–7)	тыс. руб.	2161335,4368
9. Себестоимость 1 тонны	тыс. руб.	48,270
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	110175,000
11. Численность основных рабочих	чел.	70
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	1573,92858
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	79,00
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	0,02
15. Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел.	124336,000
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	36,02
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	24,84
18. Критический объем продаж ( $Q_{кр.}$ )	тыс. тонн	7,6514
19. Критический объем продаж ( $Q_{кр.}$ )	тыс. руб.	535579,800
20. Инвестиции, $I_0$ первоначальные инвестиции	тыс. руб.	2500000,000
21. Срок окупаемости	годы	1.108

### Выводы:

Оптимальный путь снижения себестоимости и повышения, соответственно, эффективности производства это внедрение инновационных технологий и современного оборудования. Инвестиции в размере 2500000,000 тыс. руб. окупятся в течение 1,108 года. Внедрение инноваций и модернизация оборудования позволят снизить себестоимость продукции и увеличить объем продаж, что приведет к увеличению чистой прибыли.

## **Вывод**

**В дипломном проекте разработаны:** Отделитель высокого давления.

**Отделитель высокого давления** представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, предназначенный для разделения реакционной массы, поступающей с реактора на полиэтилен и непрореагировавший этилен с содержанием низкомолекулярного полиэтилена. Разделение происходит за счет резкого снижения давления реакционной массы с реактора, в следствие чего из расплава полимера выделяется растворенный в нем газ.

Основной материал для всех аппаратов 20Х2МА-сталь конструкционная легированная, предназначенная для аппаратов работающих под высоким давлением и при высокой температуре. На аппараты действует в первую очередь внутреннее давление, следовательно, производится расчет на прочность элементов аппаратов, нагруженных внутренним давлением. Также произведен расчет фланцевых соединений на обеспечение условия прочности и герметичности.

Кроме того в дипломном проекте рассмотрены:

- рассмотрен вопрос социальной ответственности, производственной безопасности, обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия, безопасность во время ЧС, экологическая безопасность.
- в экономической части проведена оценка экономической эффективности проекта. Определен размер инвестиций, требуемых для реализации проекта. На основе этих данных вычислена себестоимость продукции, проведена оценка эффективности проекта по показателям эффективности: чистый дисконтированный доход, срок окупаемости проекта 1.2 года.

## **ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:**

1. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1986. – 560 с.
2. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии. 1, 2 часть. – М.: Химия, 1995. – 768 с.
3. Лащинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. – 2-е изд.– Л.: Машиностроение, 1970. - 752с.
4. ГОСТ 25215 - 82. Сосуды и аппараты высокого давления. Обечайки и днища. Нормы и методы расчета на прочность. Введ. с 01.07.83, 8с.
5. СТ СЭВ 5206 - 85. Сосуды и аппараты высокого давления. Фланцы, крышки плоские и выпуклые. Методы расчета на прочность. Введ. с 01.01.87, 9с.
6. ГОСТ 26303 - 84 (СТ СЭВ 4350-83). Сосуды и аппараты высокого давления. Шпильки. Методы расчета на прочность. Введ. с 01.07.85.10с.
7. ГОСТ Р 52857.2 – 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2008. – 41 с.
8. ГОСТ Р 52857.3 – 2007 Сосуды и аппараты. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2008. – 26 с.
9. Г ГОСТ Р 52857.4-2007 Расчет фланцевых соединений. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2008. – 38 с.
- 10.ГОСТ Р 52857.5-2007 Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2008. – 23 с.
- 11.Семакина О.К. Монтаж, эксплуатация и ремонт оборудования отрасли. – Томск: ТПУ, 2002. – 38 с.

12. В. М. Беляев, В. М. Миронов, Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли, Часть II - Т: Изд. ТПУ, 2013-162с.
13. ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.
14. ГОСТ 12.1.003–83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
15. СНиП П-12-77. Защита от шума.
16. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92).
17. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
18. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
19. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
20. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
21. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"
22. Рабочая инструкция № 408-Р-14. – 2016. – 175 с
23. Правила устройства электроустановок (ПУЭ 7). Издание седьмое
24. Рыжакина Т.Г. Томск 2011 «Экономика и управление производством»
25. ГОСТ Р 54522-2011 Сосуды и аппараты высокого давления. Нормы и методы расчета на прочность.